

予測情報に基づいた積雪地域のダム放流操作の考察

| | |
|--------------------|---|
| その他（別言語等） のタイトル | RAINFALL FORECAST BASED WATER RELEASE FOR DAMS IN SNOWY REGIONS |
| 著者 | 臼谷 友秀, 中津川 誠, 清治 真人 |
| 雑誌名 | 水工学論文集 |
| 巻 | 53 |
| ページ | 469-474 |
| 発行年 | 2009-02 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/1535 |

予測情報に基づいた積雪地域のダム放流操作の考察

| | |
|--------------------|---|
| その他（別言語等） のタイトル | RAINFALL FORECAST BASED WATER RELEASE FOR DAMS IN SNOWY REGIONS |
| 著者 | 臼谷 友秀, 中津川 誠, 清治 真人 |
| 雑誌名 | 水工学論文集 |
| 巻 | 53 |
| ページ | 469-474 |
| 発行年 | 2009-02 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/1535 |

予測情報に基づいた積雪地域のダム放流操作の考察

RAINFALL FORECAST BASED WATER RELEASE FOR DAMS IN SNOWY REGIONS

臼谷友秀¹・中津川誠²・清治真人³

Tomohide USUTANI, Makoto NAKATSUGAWA and Masato SEIJI

¹ 正会員 (財) 日本気象協会 北海道支社 (〒064-8555 札幌中央区北 4 条西 23 丁目)

² 正会員 工博 室蘭工業大学 建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

³ 正会員 (財) 北海道科学技術総合振興センター (〒100-0055 東京都千代田区丸の内 3-2-2)

For dams in snowy regions, this paper examines the feasibility of using rainfall forecasts as a basis for “advanced water release,” *i.e.*, release that obviates the need for emergency release by reducing the water level to below the “preliminary release” water level. The authors studied this for Hoheikyō Dam, a dam with a 134-km² catchment area on the Toyohira River of the Ishikari River System. Operations for discharging water below the preliminary release water level were simulated for cases in which the cumulative rainfall forecast and the time-series forecast of rainfall for the next 6 hours were used for decision-making.

Basing advanced water release on the combination of the two forecasts achieved the avoidance of emergency operation. Some of the study results suggest that it is necessary to increase “non-damaging discharge” and review the preliminary water release level.

Key Words : *cumulative rainfall forecast, time-series rainfall forecast, Hoheikyō Dam, advanced water release, emergency operation*

1. はじめに

積雪寒冷地において融雪水は貴重な水資源であるとともに融雪洪水の原因でもある。したがって、融雪期の多目的ダムでは利水の確保を目指す一方、出水時の洪水調節も不可欠であり、貯水位管理として相反する運用が要求される。しかも、地球温暖化による融雪期の早まりや夏期以外での大雨も懸念される中¹⁾、現に、非洪水期の豪雨によって洪水調節量以上の放流を行うような危機管理を要する事態が起こっている²⁾。治水と利水の安全度の両立を図る多目的ダムでは、洪水調節機能をこれまで以上に引き出すために、予測情報を活かした事前動作の必要性が高まっている。

予測情報の活用に関して、和田ら³⁾は、夏期出水を対象にして降雨および流出予測精度を定量評価し、積算予測雨量と 6 時間先までの流出予測値は高水管理に有効な情報であることを示唆している。しかしながら、ダム操作に対する予測情報の有効性については言及されていない。一方で、誤差を持つ予測情報は使わずに、観測雨量や流出特性から事前放流量を決定する研究報告も見られる(戸谷ら⁴⁾)。

本研究は、ダムの事前放流に対して予測情報の活用を目指すものである。その第一歩として、融雪期を含む非洪水期における大規模洪水を取り上げ、予測情報を利用

することでただし書き操作を回避し得る事前放流ができるのかを考察した。

時系列で出される予測情報はリードタイムが長くなると精度が低下する。そこで、時系列予測値ではなく積算予測値がダム操作に使えるのか？、また、時系列予測値として有効なリードタイムがどの程度でそのリードタイムの時系列予測からダム操作は可能か？、といった点について以下のように検討した。

- 1) ダム操作ルールを定式化・プログラム化した。
- 2) 積算雨量の予測値と実測値との相関性、また、総雨量と総流出量との相関性を用い、積算雨量予測値から今後流入するであろう水量を予想し、空き容量との比較で放流操作の必要性を判定した。放流が必要と判断された時点からの放流でただし書き操作が回避できるかをシミュレートした。
- 3) 雨量予測および融雪量予測の誤差分散を求めて時系列流入量予測の有効なリードタイムを評価した。
- 4) このような予測情報が放流判断に役立つかをシミュレーションによって調べた。シミュレーションでは、放流方法を操作規則どおりとした場合の予測流入量から貯水位を求め、それがただし書き操作に到達する場合、直ちに洪水調節を始めた。

以上の検討の結果、積算雨量予測と時系列雨量予測を組み合わせれば、ただし書き操作の回避に役立つ可能性

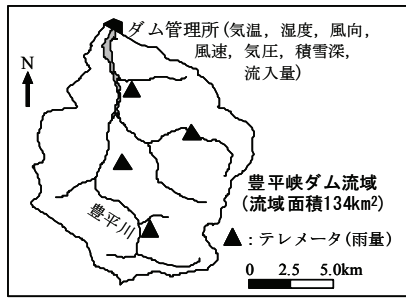


図-1 解析対象（豊平峡ダム）

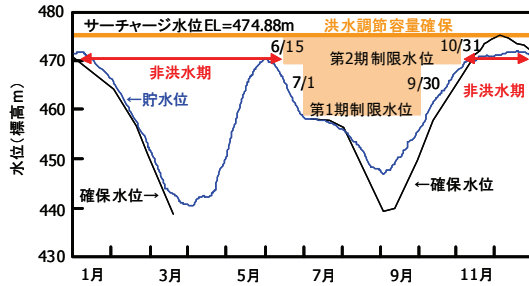


図-2 豊平峡ダムにおける貯水位の変化

のことが分かった。また一方で、融雪最盛期の洪水対応として無害放流量（洪水調節開始前流量）の増量や予備放流水位（洪水調節開始水位）の見直しの必要性を示唆する結果も得られた。

2. 解析対象

対象としたのは、札幌市の南部に位置する豊平峡ダム（流域面積：134 km²）である（図-1）。このダムは札幌市の水道水の供給と発電を担う多目的ダムであり、1973年に運用が開始され35年が経過する。その間、3度のただし書き操作が実施され、いずれも非洪水期に操作が行われた（1988年11月24日、1990年11月20日、2000年5月12日）。図-2は年間をとおした貯水位の推移であるが、ただし書き操作が行われた事例に共通することは、貯水位が高く管理されていた時期に発生していた点にある。

豊平峡ダムの洪水調節は一定率一定量放流方式が採用されている。流入量が60 m³/sを超えると洪水調節に入り、60 m³/sから820 m³/sまでの間は、次式によって放流量が算定される（定率操作）。

$$q_{out} = (q_{in} - 60) \times 0.105 + 60 \quad (1)$$

ここで、 q_{out} ：放流量（m³/s）、 q_{in} ：流入量（m³/s）。次いで、流入量が820 m³/sを超えると、 $q_{out} = 140$ m³/sの定量操作に移行する。このような洪水調節を行ったとしても、貯水位がただし書き操作水位（472.58 m）を超え、さらにサーチャージ水位（474.88 m）に到達することが予想された時点でただし書き操作に移る。

非洪水期の洪水調節は予備放流水位（470.88 m）以上の容量を使って行われる。このため、洪水調整に入る前に貯水位を予備放流水位（470.88 m）へすり付ける操作

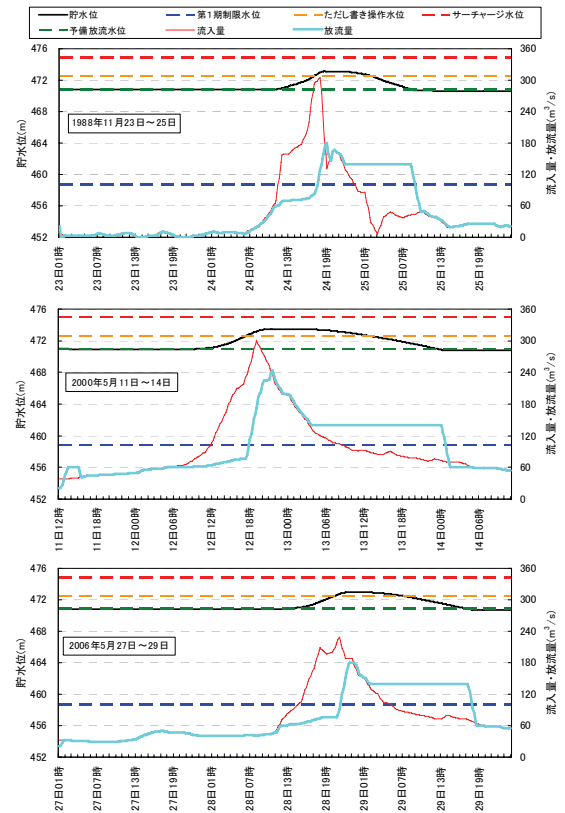


図-3 出水時の放流量・貯水位

（上段：1988年11月，中段：2000年5月，下段：2006年5月）

が行われる。予備放流水位を超え、洪水量（60 m³/s）以上の流入がある場合は上記で示した洪水調節を行う。もし、予備放流水位以下の利水容量を一時的に放流（事前放流）し、その容量も治水に使えれば、ただし書き操作を回避できる可能性がある。

図-3は、過去の非洪水期に観測された規模の大きな融雪洪水を用い上述の操作ルールで放流量と貯水位をシミュレートした結果である。なお、この図は計算結果であり、実際の放流量・貯水位とは、完全には一致しないことに留意されたい。図中、水色の実線は放流量、黒色の実線は貯水位、赤色の実線は流入量を表す。いずれも貯水位はただし書き操作水位に到達している。以下では、これら3例を対象にして、予測情報の活用と若干の操作ルールの付加によってただし書き操作が回避し得るかを調べる。

3. 予測データおよび放流操作の定式化

(1) 予測データ

豊平峡ダム流域を対象にした各種気象予測データは2006年融雪期から保存されている。本研究では、これら予測データの中で、雨量・融雪量・流入量に関するものを用いた。

予測雨量には、気象庁数値予測情報（GPV）と短時間降水予測情報（財）日本気象協会）とを組み合わせで用いた。GPVは、51時間先までの各種気象要素が1時間

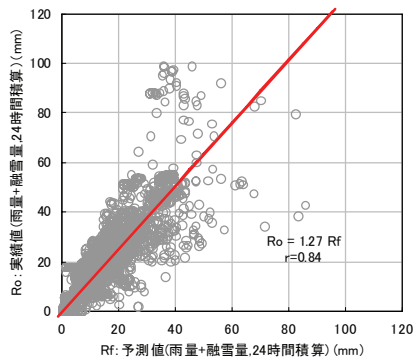


図-4 24 時間積算値の予測値と実績値の比較

単位で予測された値であり、1 日 2 回最新の情報に更新される。一方、短時間降水予測情報はレーダで捉えた雨域の移動から 6 時間先までの雨量を予測したものであり、1 時間毎に更新される。具体的な予測雨量は、1～6 時間先までの予測雨量には短時間降水予測情報、7～51 時間先までは GPV である。

融雪量および流入量は次の手順で予測されている。

- 1) まず、観測されたダム流域の気象データから流域内の積雪分布を推定し、融雪水の発生する範囲を特定する。ここでは、蒸発散を含む流域水循環が的確に推定でき、かつ、長期的な水収支を担保し得る長期水・熱収支モデル⁵⁾が採用されている。
- 2) 次に、この積雪分布を基に融雪量が推定される。融雪量の計算は熱収支法に基づき、これに加えて、融雪量が積雪層を流下する際の遅れを加味した手法が使われている。
- 3) 最後に、以上で計算された融雪量と雨量を流出モデルに入力し流入量が算定される。

2) および 3) の計算は、臼谷・中津川・星ら⁶⁾の提案する手法による。また、予測流入量を算出する際には、カルマンフィルターによって、1 時間毎の実測流入量を基に計算値と流出モデル定数が更新される⁷⁾。

(2) ダム操作ルールの定式化

以上によって流入量が予測されるが、それとダム操作が一体となって貯水位が算出されることになる。本研究では、前章で述べたダムの洪水調節に関する操作ルールを定式化（プログラム化）し解析を進めた。この処理は貯水位・流入量に応じて放流量を算定するものであり、モデル化にあたっては、操作規則・操作細則・ただし書き操作要領を if - then 形式の組み合わせで定式化した。放流量の計算時間間隔は、ダム操作の実態から 10 分単位とした。なお、前節で出力される流入量は 1 時間間隔であることから、その値を直線で補間して 10 分間隔の値に変換した上で、ここでのプログラムに入力した。

4. 積算雨量予測に基づく放流操作

出水前に必要な空き容量を準備するにあたっては、十

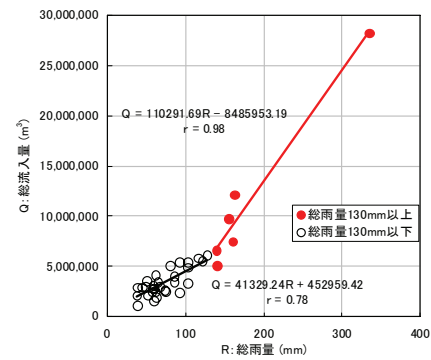


図-5 総雨量と総流入量の関係

分な放流量が確保できるといった点からリードタイムの長い予測情報が望ましい。しかしながら、時系列雨量予測はリードタイムが長くなるとその精度は著しく低下する。和田らの報告³⁾によれば、積算雨量予測値は高水時の監視情報として利用可能であることを示している。積算雨量予測を時系列雨量予測に換えて使えば、より長い準備時間が設けられ、ただし書き操作の回避に結びつくかもしれない。そこで、積算雨量予測を参考にして放流開始の判断ができないかを試みた。

(1) 24 時間積算雨量の予測精度

まず、予測値が保存されている 2006 年・2007 年の融雪期における 24 時間積算雨量（融雪量も含む）の実績値と予測値とを比較した。その結果を図-4 に示す。図にプロットした期間は 2006 年 5 月 17 日～同年 6 月 17 日と 2007 年 4 月 17 日～同年 6 月 15 日であり、1 時間毎に更新される予測値を全て図示した。図中、横軸は予測値、縦軸は実績値を表わす。赤色の実線は、予測値と実績値の回帰直線を表わしている。実績値および予測値は、雨量に加えて融雪量も含んだ値である。いずれも流域平均値である。なお、実績雨量はダムデータ⁸⁾、実績融雪量は前章で述べたモデル⁶⁾を用いて豊平峡ダム流域で観測された気象データから計算した値である。図によれば、予測値は実績値に比べて少なめではあるもの、相関係数 0.84 の直線関係が見られた。以上から 24 時間積算値に関する予測値と実績値に関して次式を得た。

$$R_o = 1.27 R_f \quad (2)$$

ここで、 R_o : 実績値 (mm), R_f : 予測値 (mm). 両者とも、雨量および融雪量の 24 時間積算値である。

積算雨量から総流入量の推定にあたっては、図-5 に示す総雨量と総流入量の関係に基づいた次式を用いた。

$$Q_i = \begin{cases} 41,329 R_o + 452,959 & : R_o \leq 130 \text{ mm} \\ 110,292 R_o - 8,485,953 & : R_o > 130 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 Q_i : 総流入量 (m^3), R_o : 総雨量 (mm).

以上、式 (2) と式 (3) を組み合わせることで、積算予測雨量から総流入量が得られる。

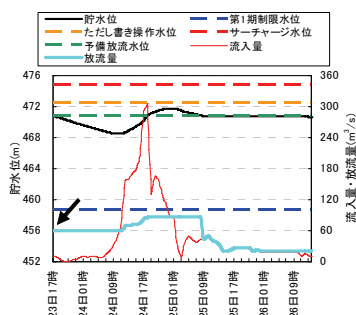


図-6 24 時間積算値に基づく放流結果
(1988 年 11 月. 図中の矢印は放流開始が判断された時刻)

表-1 積算雨量に基づいた放流開始時刻

| 事例 | 放流開始時刻 | 流入量のピーク出現時刻 |
|-------------|----------------|----------------|
| 1988 年 11 月 | 11 月 23 日 17 時 | 11 月 24 日 18 時 |
| 2000 年 5 月 | 5 月 11 日 22 時 | 5 月 12 日 22 時 |
| 2006 年 5 月 | 総流入量は空き容量を超えない | 5 月 28 日 21 時 |

(2) 24 時間積算雨量に基づく放流操作

放流開始の判断は、前項の手順で得られる総流入量と、ダムの空き容量とを比較することで行う。空き容量は、予測時点においてただし書き操作水位に到達するまでの容量と、 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ （無害流量）の放流を 24 時間継続することによって確保される容量の和として次式で与えた。

$$V = (V_m - V_i) + V_o \quad (4)$$

ここで、 V ：24 時間後の空き容量 (m^3)、 V_m ：ただし書き操作水位における貯水量 (m^3)、 V_i ：予測時点の貯水量、 V_o ： $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流を 24 時間継続した場合の総放流量 (m^3)。

この手順で放流開始の判断ができるかを調べる。なお、1988 年 11 月および 2000 年 5 月については、実際の予測雨量が存在しないことから、予測雨量には式 (2) をもとに実績雨量の 24 時間積算値に 1/1.27 を乗じた値を用いた。

表-1 は 24 時間積算雨量から放流を判断した結果である。1988 年 11 月および 2000 年 5 月の事例は、流入量のピークが出現する時刻の約 24 時間前に、ただし書き操作水位に到達することが判定されている。一方、2006 年 5 月の事例については放流が必要とは判断されなかった。

放流が必要と判断された 1988 年 11 月と 2000 年 5 月の事例について、放流操作を行ったときの貯水位および放流量の変化を図-6 と図-7 に示す。ここでの放流操作は次のように行った。

- ・放流の必要性が判定された時点から無害流量 ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) の放流を開始する。このとき、貯水位が予備放流水位以下になることを許す。すなわち、この放流が事前放流となる。
- ・その後、流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えた時点から洪水調節を開始する。

なお、この放流操作は操作規則とは異なり、予備放流水位より低い貯水位から流入量に見合う洪水調節を始め

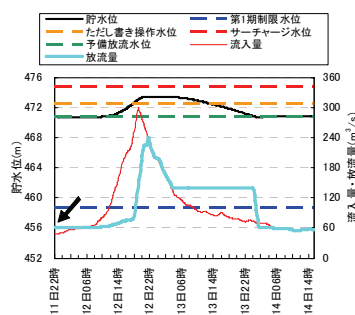


図-7 24 時間積算値に基づく放流結果
(2000 年 5 月. 図中の矢印は放流開始が判断された時刻)

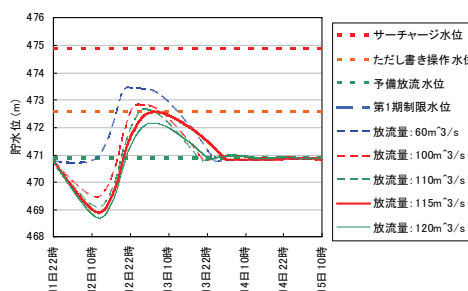


図-8 事前放流量を変化させたときの貯水位の違い
(2000 年 5 月)

ることになる。すなわち、想定される洪水調節を前倒しして行うものである。

図-6 および図-7 によれば、1988 年 11 月の事例は 24 時間積算値で放流が必要と判断された時刻から事前放流の最大量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流すればただし書き操作が回避されている。しかしながら、2000 年 5 月の事例は $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流を行ってもただし書き操作は回避できていない。

前者は、事前放流を開始してから流出が始まる間、流入量は放流量の $60 \text{ m}^3/\text{s}$ より十分に小さく $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流が効果的に貯水位を低下させていた。一方、後者は、融雪最盛期であったために流出開始前の流入量は $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流を行ったとしても貯水位を低下させる効果は見られない。すなわち、融雪最盛期においては $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の放流は貯水位の低下に対して十分な効果は期待できない。

そこで、事前放流量を $60 \text{ m}^3/\text{s}$ から変化させると貯水位がどのように変化するかを検討した。その結果を図-8 に示す。これによると、事前放流量を $115 \text{ m}^3/\text{s}$ に設定しなければただし書き操作は回避できないことがわかる。また、図-9 は、事前放流量を $60 \text{ m}^3/\text{s}$ に固定し放流開始時点の貯水位を変えて貯水位を計算した結果である。この図によれば、放流量を $60 \text{ m}^3/\text{s}$ に設定すると、放流開始時の貯水位は 466.50 m （現状予備放流水位 470.88 m よりさらに -4.38 m ）まで下げることが必要と読み取れる。

以上、2000 年 5 月の出水は、24 時間積算雨量をもとに放流開始が判断できたとしても、ただし書き操作は回避できなかった。このことを解消するには無害流量（洪水調節開始前流量）の増量もしくは予備放流水位（洪水調節開始水位）の低下が必要である。また、2006 年 5 月の出水については判断不能であった。

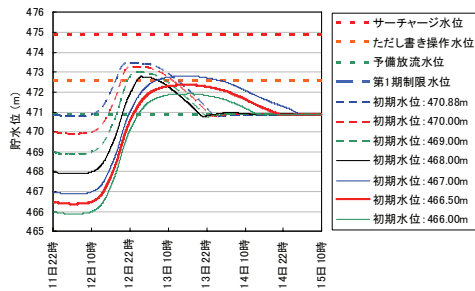


図-9 初期貯水位の設定の違いによる貯水位の変化
(2000年5月)

5. 時系列予測に基づく放流操作

ここでは、前章で放流判断ができなかった 2006 年 5 月の出水について、時系列の予測流入量を用いてただし書き操作の回避が可能かどうか検討する。まず、星らの報告⁹⁾に準拠し、モデルへの入力値となる雨量ならびに融雪量の予測誤差分散性を決定する。そこから流入量の予測信頼区間を定量化し⁷⁾、流入量を判断する上で有効な予測時間を特定する。その有効時間内の予測情報を基にして放流開始を判断する。具体的な判断は、予測流入量から計算される貯水位がただし書き操作水位を超えるか否かで決めた。

(1) 予測流入量の信頼区間の評価

星らの報告⁹⁾によれば、予測雨量の推定誤差 S_l は次式によって表される。

$$\frac{S_l}{\sqrt{l}} = a\bar{r}_l^b \quad (5)$$

ここで、 S_l ：予測値と実現値の平均二乗誤差の平方根 (mm/h)、 l ：リードタイム (h)、 \bar{r}_l ：平均値 (mm/h)、 a, b ：定数。

図-10 は、予測雨量を 8 階級に区分しそれぞれの階級における実績雨量の平均値 \bar{r}_l と、 S_l/\sqrt{l} との関係である。なお、 \bar{r}_l ならびに S_l/\sqrt{l} は文献⁹⁾に従って整理した。対象とした期間は、2006年5月17日～同年6月17日と2007年4月17日～同年6月15日、1時間毎に更新される予測雨量が 0 mm/h を超えた場合のデータを用いた。凡例中の l はリードタイムを表しており、この図はリードタイムが1時間から12時間までの予測を対象に整理している。図より雨量の推定誤差式として次式を得た。

$$\text{雨量の誤差推定式: } S_l = 1.179\bar{r}_l^{0.486}\sqrt{l} \quad (6)$$

同様な整理を融雪量に対して行い、次式に示す融雪量に関する誤差推定式を得た。

$$\text{融雪量の誤差推定式: } S_l = 0.397\bar{m}_l^{0.447}\sqrt{l} \quad (7)$$

ここで、 \bar{m}_l ：融雪量の平均値 (mm/h)。

以上で求めた誤差推定式を用い、2000 年 5 月の出水における流入量の予測信頼区間を示したものが図-11 であ

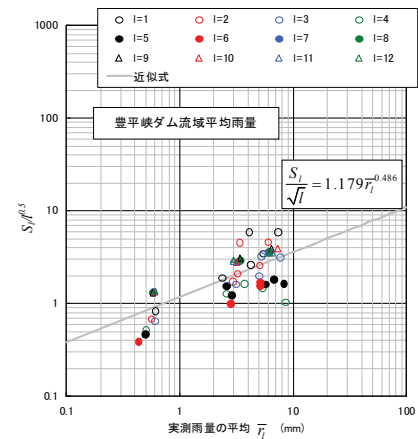


図-10 実績雨量の平均値 \bar{r}_l と S_l/\sqrt{l} の関係

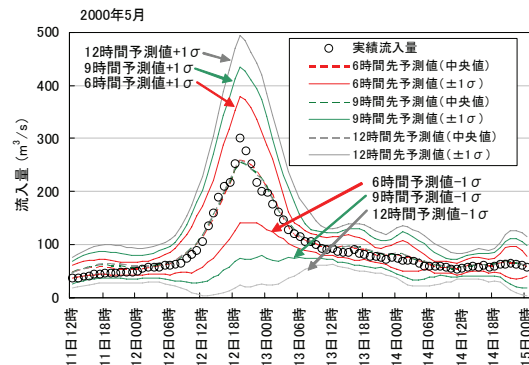


図-11 流入量の推定誤差 (2000年5月)

る。なお、流入量の信頼区間の計算方法は文献⁷⁾を参考にした。図中、○印は実績流入量、灰色、緑色、赤色の実線は、それぞれ、リードタイムが 12 時間、9 時間、6 時間の場合の流入量の信頼区間を表している。各リードタイムの信頼区間の中央値は同色の破線で示した。なお、中央値は流出モデルを用いて実績雨量（融雪量も含む）から求めた計算流入量であり、信頼区間は中央値 $\pm 1\sigma$ (σ : 標準偏差) で示している。図によると、リードタイムが 9 時間および 12 時間の場合、ピーク流入量が出現している時刻の予測値- 1σ 値は、流出開始時点の流入量と同程度か、もしくはそれより少ない。この予測値では流出するか否かの判断すらできない。ダムの操作判断に使える予測値はリードタイムが 6 時間程度までといえよう。この 6 時間は、和田らの報告³⁾や、実際の予測流入量の包絡範囲からの評価結果¹⁰⁾と同様であった。

(2) 時系列予測情報に基づく放流操作

以上の結果を踏まえ、リードタイム 6 時間以内の予測流入量から 2006 年 5 月のダム操作をシミュレートした。この事例では、実際に出されていた予測流入量が保存されており、この時系列の予測値をそのまま計算に用いた。シミュレーションでは、予測流入量から操作規則どおりに放流を行った場合の貯水位を計算し、その貯水位を参考に次のような放流操作を行った。

- ・もし、計算貯水位がただし書き操作水位に到達するこ

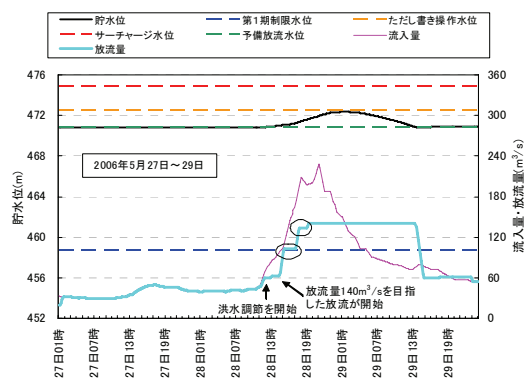


図-12 実際の時系列予測値による放流操作結果 (2006 年 5 月)

とが予測される場合は、放流量が流入量を超えない範囲で、放流の原則を守りつつ洪水調節の最大量（計画最大放流量 $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を放流する。

- 一方、計算貯水位がただし書き操作水位を超えない場合は、操作規則どおりの放流を行う。

以上の操作では、流入量が $820 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えない状況にあっても放流量が $140 \text{ m}^3/\text{s}$ に到達することがある。これは、ただし書き操作を回避するため、ダム洪水調節機能を最大限使った操作とみなせる。

図-12 は、時系列雨量予測値に基づいて放流操作を行った結果である。流入量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えた時点で洪水調節に入り、その後、ただし書き操作水位に到達することが予測された時点で、計画最大放流量（ $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を目指した放流が開始されている。放流開始後、 $140 \text{ m}^3/\text{s}$ に到達する前に一定放流になる箇所（図中、黒色の円で囲んだ部分）が見られる。これは、予測された貯水位がただし書き操作水位を超えなかったことから、操作規則どおりの放流が行われたためである。操作規則に従えば、当該時刻の貯水位が予備放流水位より高い状況にあつては、貯水位が予備放流水位以下になるまで当該時刻の放流量を維持することになっている。このような操作が行われ放流量が一定になった。その後、放流量を $140 \text{ m}^3/\text{s}$ まで増加させ、ただし書き操作に移行せず洪水調節ができていく。この例では、リードタイム 6 時間の時系列予測であっても、ただし書き操作の回避が可能であった。

6. まとめ

本報告では、ただし書き操作を必要とする出水事例を取り上げ、予測情報に基づくダムの放流操作を試みた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 積算雨量予測値を利用し、事前放流開始の判定と放流操作をシミュレートした。放流開始を見逃す場合はあったものの、洪水前の流入量が少ない事例においては $60 \text{ m}^3/\text{s}$ （無害流量）の放流によってただし書き操作が回避できた。
- 2) しかし、融雪最盛期の出水例では、判定不能であったり、判定ができたとしても放流量が $60 \text{ m}^3/\text{s}$ であつたただし書き操作は回避できないという結果であつ

た。

- 3) 予測雨量および融雪量の誤差分散推定式を決定し、予測流入量の信頼区間を評価した。その結果、流入量の時系列予測として有効なリードタイムは 6 時間程度と考えられた。
- 4) そこで、実際に出されていた 6 時間先までの時系列予測流入量を使い、融雪最盛期の事例を対象にして放流操作をシミュレートした。その結果、放流開始が判定でき、かつ、ただし書き操作を回避することができた。

以上、積算雨量予測と時系列予測を組み合わせれば、ただし書き操作の回避に役立つ可能性があり、ただし書き操作をおこなうような模擬データ解析などを通して解析例を増やし、今後も検討を進めたい。一方で、融雪最盛期の洪水対応として無害流量の増量や予備放流水位の見直しについても、あわせて検討していく必要があるものとする。

謝辞： 本論文をまとめるにあたり、石狩川開発建設部豊平川ダム統合管理事務所からデータ提供等で協力いただいた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 臼谷友秀，中津川誠：北海道における冬期温暖化の傾向と水循環へ与える影響，地球環境シンポジウム論文集，13，pp.1-6，2005。
- 2) 中津川誠，星 清：融雪期に豪雨が相俟って生起する出水の予測について，河川技術論文集，第 7 巻，pp.453-458，2001。
- 3) 和田一範，川崎将生，富澤洋介：河川の高水管理における予測降雨情報の適用性に関する考察，水文・水資源学会誌，Vol.18，No.6，pp.703-709，2005。
- 4) 戸谷英雄，秋葉雅章，宮本守，山田正，吉川秀夫：ダム流域における洪水流出特性から可能となる新しい放流方法の提案，土木学会論文集 B，Vol.62，No.1，pp.27-40，2006。
- 5) 口澤寿，中津川誠：熱・水収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定，北海道開発土木研究所月報，No.588，pp.19-38，2002。
- 6) 臼谷友秀，中津川誠，星 清：積雪浸透を考慮した実用的融雪流出モデルの開発，水文・水資源学会誌，Vol.20，No.2，pp.93-105，2007。
- 7) (財)北海道河川防災研究センター・研究所 編集・発行：「実時間洪水予測システム理論」解説書，396p.，2004。
- 8) 国土交通省 水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>
- 9) 星 清，東海林勉，藤田暁：短時間予測降雨における誤差指標の総合化，(財)北海道河川防災研究センター研究所紀要，XVI，pp.379-404，2005。
- 10) 臼谷友秀，中津川誠：気象予測情報に基づいた融雪洪水の予測精度，河川技術論文集，第 14 巻，pp.41-46，2008。

(2008. 9. 30 受付)